

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-230480
(P2001-230480A)

(43)公開日 平成13年8月24日(2001.8.24)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード*(参考)
H 0 1 S 3/30		H 0 1 S 3/30	Z 2 K 0 0 2
G 0 2 F 1/35	5 0 1	G 0 2 F 1/35	5 0 1 5 F 0 7 2
H 0 1 S 3/094		H 0 1 S 3/094	S

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 14 頁)

(21)出願番号	特願2000-35755(P2000-35755)	(71)出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(22)出願日	平成12年2月14日(2000.2.14)	(72)発明者	増田 浩次 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72)発明者	高知尾 昇 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(74)代理人	100083806 弁理士 三好 秀和 (外1名)

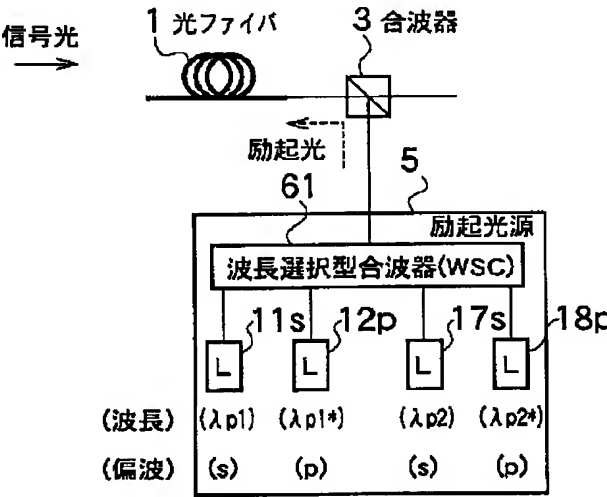
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラマン増幅利用の励起光源および光ファイバ通信システム

(57) 【要約】

【課題】 偏波合波器を必要とせず、その挿入損失を低減でき、経済化および高性能化を図り得るとともに、障害発生時に現用から予備への切り替えを高速に行い得るラマン増幅利用の励起光源および光ファイバ通信システムを提供する。

【解決手段】 励起光源5では複数のレーザ11s, 12p, 17s, 18pで異なる波長 λ_{p1} , λ_{p1*} , λ_{p2} , λ_{p2*} の複数の励起光を出射するも、この複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長 λ_{p1} と λ_{p1*} 、および λ_{p2} と λ_{p2*} が互いに近接して設定され、この波長が近接した各2つの励起光の偏波状態が互いに直交しているように設定される複数の励起光を出射し、この複数の励起光を波長選択型合波器61で合波する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光ファイバ中を伝送される信号光を増幅するラマン増幅器を有するラマン増幅利用の光ファイバ通信システムであって、前記ラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源から出射した励起光と信号光とを合波する合波器とを有し、前記励起光源は、各々が波長の異なる複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち 2 つずつの励起光の波長が互いに近接して設定され、この波長が近接して設定された各 2 つの励起光の組のうち、少なくとも 1 組以上の組において波長が互いに近接した 2 つの励起光の偏波状態が互いに直交している複数のレーザと、該レーザから出射した励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有することを特徴とするラマン増幅利用の光ファイバ通信システム。

【請求項 2】 光ファイバ中を伝送される信号光を増幅するラマン増幅器を有するラマン増幅利用の光ファイバ通信システムであって、前記ラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源から出射される励起光と信号光とを合波する合波器とを有し、前記励起光源は、現用励起光源と、予備励起光源と、該現用励起光源および予備励起光源から出射される励起光を合波する偏波合波器と、前記現用励起光源を監視して、該現用励起光源の故障を検出した場合、現用励起光源を停止し、予備励起光源を駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有し、前記現用励起光源は、各々が波長の異なる複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち 2 つずつの励起光の波長が互いに近接して設定されている複数の単一偏波のレーザと、該レーザから出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有し、前記予備励起光源は、各々が異なる波長を有するとともに、前記現用励起光源の複数のレーザから出射される励起光の偏波に直交する偏波の複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち 2 つずつの励起光の波長が互いに近接して設定されている複数のレーザと、該レーザから出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有することを特徴とするラマン増幅利用の光ファイバ通信システム。

【請求項 3】 光ファイバ中を伝送される信号光を増幅するラマン増幅器を有するラマン増幅利用の光ファイバ通信システムであって、前記ラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源から出射される励起光と信号光とを合波する合波器とを有し、前記励起光源は、

- 10 各々の対では偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なる励起光を出射する複数の対のレーザであって、該複数の対のレーザのうち、2 対ずつのレーザにおいては出射される励起光の波長が互いに近接して設定されている複数の対のレーザと、各々が前記複数の対のレーザの各対に対応して設けられる複数の偏波合波器であって、各偏波合波器は各対のレーザから出射される同一波長の励起光を合波する複数の偏波合波器と、該複数の偏波合波器から出射される複数の励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器と、
- 20 前記複数の対のレーザの各対において出射される同一波長の一对の励起光の互いに直交した偏波のうち、一方の偏波を有するレーザを現用のレーザとし、他方の偏波を有するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、該レーザの故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有することを特徴とするラマン増幅利用の光ファイバ通信システム。

- 【請求項 4】 光ファイバ中を伝送される信号光を増幅するラマン増幅器を有するラマン増幅利用の光ファイバ通信システムであって、前記ラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源から出射された励起光と信号光とを合波する合波器とを有し、前記励起光源は、各々の対では偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なる励起光を出射する複数の対のレーザであって、該複数の対のうち、2 つずつの対のレーザから出射される励起光の波長が互いに近接して設定されている複数の対のレーザと、各々が前記複数の対のレーザの各対に対応して設けられる複数の偏波合波器であって、各偏波合波器は各対のレーザから出射される同一波長の励起光を合波する複数の偏波合波器と、該複数の偏波合波器から出射される複数の励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器と、
- 30 前記波長が互いに近接して設定されている各 2 対のレーザにおいて第 1 の波長の第 1 の偏波の励起光を出射する
- 40
- 50

3

レーザと第 2 の波長の前記第 1 の偏波に直交した第 2 の偏波の励起光を出射するレーザを現用のレーザとし、第 1 の波長の第 2 の偏波の励起光を出射するレーザと第 2 の波長の前記第 2 の偏波に直交した第 1 の偏波の励起光を出射するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、該レーザの故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有することを特徴とするラマン増幅利用の光ファイバ通信システム。

【請求項 5】 各々が波長の異なる複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち 2 つずつの励起光の波長が互いに近接して設定され、この波長が近接して設定された各 2 つの励起光の組のうち、少なくとも 1 組以上の組において波長が互いに近接した 2 つの励起光の偏波状態が互いに直交している複数のレーザと、

該レーザから出射した励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有することを特徴とするラマン増幅利用の励起光源。

【請求項 6】 現用励起光源と、予備励起光源と、該現用励起光源および予備励起光源から出射される励起光を合波する偏波合波器と、前記現用励起光源を監視して、該現用励起光源の故障を検出した場合、現用励起光源を停止し、予備励起光源を駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有し、

前記現用励起光源は、

各々が波長の異なる複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち 2 つずつの励起光の波長が互いに近接して設定されている複数の単一偏波のレーザと、

該レーザから出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有し、

前記予備励起光源は、

各々が波長の異なるとともに、前記現用励起光源の複数のレーザから出射される励起光の偏波と異なる偏波の複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち 2 つずつの励起光の波長が互いに近接して設定されている複数のレーザと、

該レーザから出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有することを特徴とするラマン増幅利用の励起光源。

【請求項 7】 各対では偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なる励起光を出射する複数対のレーザであって、該複数対のレーザのうち、2 対ずつのレーザにおいては出射される励起光の波長が互いに近接して設定されている複数対のレーザと、

各々が前記複数対のレーザの各対に対応して設けられる複数の偏波合波器であって、各偏波合波器は各対のレーザから出射される同一波長の励起光を合波する複数の偏

4

波合波器と、

該複数の偏波合波器から出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器と、

前記複数対のレーザの各対において出射される同一波長の一对の励起光の互いに直交した偏波のうち、一方の偏波を有するレーザを現用のレーザとし、他方の偏波を有するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、該レーザの故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有することを特徴とするラマン増幅利用の励起光源。

【請求項 8】 各対では偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なる励起光を出射する複数対のレーザであって、該複数対のうち、2 つずつの対のレーザから出射される励起光の波長が互いに近接して設定されている複数対のレーザと、各々が前記複数対のレーザの各対に対応して設けられる複数の偏波合波器であって、各偏波合波器は各対のレーザから出射される同一波長の励起光を合波する複数の偏波合波器と、

該複数の偏波合波器から出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器と、

前記波長が互いに近接して設定されている各 2 対のレーザにおいて第 1 の波長の第 1 の偏波の励起光を出射するレーザと第 2 の波長の前記第 1 の偏波に直交した第 2 の偏波の励起光を出射するレーザを現用のレーザとし、第 1 の波長の第 2 の偏波の励起光を出射するレーザと第 2 の波長の前記第 2 の偏波に直交した第 1 の偏波の励起光を出射するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、該レーザの故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有することを特徴とするラマン増幅利用の励起光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ中を伝送される信号光を増幅するラマン増幅器に適用し得るラマン増幅利用の励起光源および光ファイバ通信システム

【0002】

【従来の技術】この種の従来のラマン増幅器および該ラマン増幅器を用いた波長多重の光ファイバ通信システムの基本構成を図 9 に示す (Y. Emori et al., Proc. OFC, PD19, 1999 および H. Masuda et al., IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 11, p. 647-649, 1999 参照)。同図に示すラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバ 1、該光ファイバ 1 を励起する励起光源 5 9、および該励起光源 5 9 から出射される励起光と信号光を合波する合波器 3 から構成されている。なお、図 9 では、励起光の伝搬方向が信号光の伝搬方向と逆である後方向励起の場合を示しているが、両者の伝搬方向が同じ

5

である前方向励起の場合、または双方向励起の場合にも本発明のラマン増幅器は適用し得るものであるとともに、以下に説明するすべてのラマン増幅器に適用し得るものである。

【0003】光ファイバ1は、線形中継器や端局間等に敷設された伝送ファイバ、またはボビンなどに巻くなどして収容したラマンファイバと呼ばれる高開口数のファイバである。なお、伝送ファイバを用いる場合には、分布定数的に増幅を行い、ラマンファイバを用いる場合には、集中定数的に増幅を行う。

【0004】励起光源59は、波長が λ_{p1} で偏波sの励起光を出射するレーザ11sと、波長がレーザ11sの波長と同じ λ_{p1} であって、偏波sに直交する偏波pの励起光を出射するレーザ11pと、波長が λ_{p2} で偏波sの励起光を出射するレーザ17sと、波長がレーザ17sの波長と同じ λ_{p2} であって、偏波sに直交する偏波pの励起光を出射するレーザ11pと、レーザ11sおよび11pから出射される同一波長で異なる偏波の励起光を偏波領域で合波する偏波合波器(P)31と、レーザ17sおよび17pから出射される同一波長で異なる偏波の励起光を偏波領域で合波する偏波合波器33と、偏波合波器31および33からの異なる波長の励起光を波長領域で合波する波長選択型合波器(WSC)67とから構成されている。複数のレーザ11s、11p、17s、17pは、半導体レーザやラマンファイバレーザなどの単一偏波のレーザである。

【0005】このように構成されるラマン増幅器では、偏波合波器31、33において各レーザから出射される励起光を偏波領域で合波することにより、光ファイバ中で生じるラマン利得に信号光偏波依存性が存在する場合には、その偏波依存性を解消している。また、波長選択型合波器67において波長領域で合波することにより、ラマン利得の平坦利得帯域幅の拡大を行っている。

【0006】上述した従来のラマン増幅器の励起光パワースペクトルの例を図10に示す。 λ_{p1} と λ_{p2} をそれぞれ1500nmおよび1530nmとしている。ただし一般に、励起光波長は任意の波長でよい。また、 λ_{p1} と λ_{p2} における励起光パワーの大小は、利得媒質である光ファイバ中での励起光の相互作用の大きさにより図10と異なる。図10の励起光パワースペクトルに対応した利得スペクトルを図11に示す。sおよびp偏波成分の励起光によるラマン利得の平均値およびそれらの和を示している。励起光波長 λ_{p1} から λ_{p2} (1500nmから1530nm)の約100nm長波長側の1600nmから1630nmの信号光波長域で平坦化された利得スペクトルが得られていることがわかる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来のラマン増幅器では、第1に、励起光源が偏波合波器31、33を含んでおり、偏波領域での合波の際に、偏波合波器の

6

挿入損失(例えば0.5dBないし1dB)分だけ励起光パワーが低下する。また、励起光源の構成部品数が多く高価であるという欠点がある。第2に、励起光源の予備がないため、励起光源に障害が生じたときに、励起光源を手動で取り替えなければならず、現用から予備への切り替えに時間がかかる等のシステム劣化があるという欠点がある。

【0008】本発明は、上記に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、偏波合波器を必要とせず、その挿入損失を低減でき、経済化および高性能化を図り得るとともに、障害発生時に現用から予備への切り替えを高速に行い得るラマン増幅利得の励起光源および光ファイバ通信システムを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1記載の本発明は、光ファイバ中を伝送される信号光を増幅するラマン増幅器を有するラマン増幅利用の光ファイバ通信システムであって、前記ラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源から出射した励起光と信号光とを合波する合波器とを有し、前記励起光源は、各々が波長の異なる複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定され、この波長が近接して設定された各2つの励起光の組のうち、少なくとも1組以上の組において波長が互いに近接した2つの励起光の偏波状態が互いに直交している複数のレーザと、該レーザから出射した励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有することを要旨とする。

【0010】請求項1記載の本発明にあつては、複数のレーザで波長の異なる複数の励起光を出射するも、この複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定され、この波長が近接して設定された各2つの励起光の組のうち、少なくとも1組以上の組において波長が互いに近接した2つの励起光の偏波状態が互いに直交しているように設定される複数の励起光を出射し、この複数の励起光を波長選択型合波器で合波しているため、従来のように偏波合波器を必要とせず、励起光に対するレーザから増幅用光ファイバまでの挿入損失を低減することができるとともに、部品点数が少なく、経済化を図ることができる。

【0011】また、請求項2記載の本発明は、光ファイバ中を伝送される信号光を増幅するラマン増幅器を有するラマン増幅利用の光ファイバ通信システムであって、前記ラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源から出射される励起光と信号光とを合波する合波器とを有し、前記励起光源は、現用励起光源と、予備励起光源と、該現用励起光源および予備励起光源から出射さ

れる励起光を合波する偏波合波器と、前記現用励起光源を監視して、該現用励起光源の故障を検出した場合、現用励起光源を停止し、予備励起光源を駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有し、前記現用励起光源は、各々が波長の異なる複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定されている複数の単一偏波のレーザと、該レーザから出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有し、前記予備励起光源は、各々が異なる波長を有するとともに、前記現用励起光源の複数のレーザから出射される励起光の偏波に直交する偏波の複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定されている複数のレーザと、該レーザから出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有することを要旨とする。

【0012】請求項2記載の本発明にあっては、現用励起光源と予備励起光源では複数のレーザで波長の異なる複数の励起光を出射するも、複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定される複数の励起光を出射し、この複数の励起光を合波して出射するとともに、励起光監視部で現用励起光源を監視して、その故障を検出した場合、現用励起光源を停止し、予備励起光源を駆動して現用から予備に切り替えるため、励起光源の現用から予備への切り替えを高速に行うことができ、従来のような手動切り替えによる長時間のシステム停止を回避することができる。

【0013】更に、請求項3記載の本発明は、光ファイバ中を伝送される信号光を増幅するラマン増幅器を有するラマン増幅利用の光ファイバ通信システムであって、前記ラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源から出射される励起光と信号光とを合波する合波器とを有し、前記励起光源は、各々の対では偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なる励起光を出射する複数対のレーザであって、該複数対のレーザのうち、2対ずつのレーザにおいては出射される励起光の波長が互いに近接して設定されている複数対のレーザと、各々が前記複数対のレーザの各対に対応して設けられる複数の偏波合波器であって、各偏波合波器は各対のレーザから出射される同一波長の励起光を合波する複数の偏波合波器と、該複数の偏波合波器から出射される複数の励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器と、前記複数対のレーザの各対において出射される同一波長の一对の励起光の互いに直交した偏波のうち、一方の偏波を有するレーザを現用のレーザとし、他方の偏波を有するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、該レーザの故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを

駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有することを要旨とする。

【0014】請求項3記載の本発明にあっては、複数対のレーザでは各対において偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では励起光の波長の異なり、複数対のレーザのうち、2対ずつのレーザにおいて励起光の波長が互いに近接している複数の励起光を出射するとともに、複数対のレーザの各対において互いに直交した偏波のうち、一方の偏波を有するレーザを現用のレーザとし、他方の偏波を有するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、その故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替えるため、励起光源の現用から予備への切り替えを高速に行うことができ、従来のような手動切り替えによる長時間のシステム停止を回避することができる。

【0015】請求項4記載の本発明は、光ファイバ中を伝送される信号光を増幅するラマン増幅器を有するラマン増幅利用の光ファイバ通信システムであって、前記ラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバと、該光ファイバを励起する励起光源と、該励起光源から出射される励起光と信号光とを合波する合波器とを有し、前記励起光源は、各々の対では偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なる励起光を出射する複数対のレーザであって、該複数対のうち、2つずつの対のレーザから出射される励起光の波長が互いに近接して設定されている複数対のレーザと、各々が前記複数対のレーザの各対に対応して設けられる複数の偏波合波器であって、各偏波合波器は各対のレーザから出射される同一波長の励起光を合波する複数の偏波合波器と、該複数の偏波合波器から出射される複数の励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器と、前記波長が互いに近接して設定されている各2対のレーザにおいて第1の波長の第1の偏波の励起光を出射するレーザと第2の波長の前記第1の偏波に直交した第2の偏波の励起光を出射するレーザを現用のレーザとし、第1の波長の第2の偏波の励起光を出射するレーザと第2の波長の前記第2の偏波に直交した第1の偏波の励起光を出射するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、該レーザの故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有することを要旨とする。

【0016】請求項4記載の本発明にあっては、複数対のレーザでは各対において偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では励起光の波長の異なり、複数対のレーザのうち、2対ずつのレーザにおいて励起光の波長が互いに近接している複数の励起光を出射するとともに、波長が互いに近接した各2対のレーザにおいて第1の波長の第1の偏波の励起光を出射

するレーザと第2の波長の前記第1の偏波に直交した第2の偏波の励起光を出射するレーザを現用のレーザとし、第1の波長の第2の偏波の励起光を出射するレーザと第2の波長の前記第2の偏波に直交した第1の偏波の励起光を出射するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、その故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替えるため、励起光源の現用から予備への切り替えを高速に行うことができ、従来のような手動切り替えによる長時間のシステム停止を回避することができる。

【0017】また、請求項5記載の本発明の励起光源は、各々が波長の異なる複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定され、この波長が近接して設定された各2つの励起光の組のうち、少なくとも1組以上の組において波長が互いに近接した2つの励起光の偏波状態が互いに直交している複数のレーザと、該レーザから出射した励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有することを要旨とする。

【0018】請求項5記載の本発明にあつては、複数のレーザで波長の異なる複数の励起光を出射するも、この複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定され、この波長が近接して設定された各2つの励起光の組のうち、少なくとも1組以上の組において波長が互いに近接した2つの励起光の偏波状態が互いに直交しているように設定される複数の励起光を出射し、この複数の励起光を波長選択型合波器で合波しているため、従来のように偏波合波器を必要とせず、励起光に対するレーザから増幅用光ファイバまでの挿入損失を低減することができるとともに、部品点数が少なく、経済化を図ることができる。

【0019】更に、請求項6記載の本発明の励起光源は、現用励起光源と、予備励起光源と、該現用励起光源および予備励起光源から出射される励起光を合波する偏波合波器と、前記現用励起光源を監視して、該現用励起光源の故障を検出した場合、現用励起光源を停止し、予備励起光源を駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有し、前記現用励起光源は、各々が波長の異なる複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定されている複数の単一偏波のレーザと、該レーザから出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有し、前記予備励起光源は、各々が波長の異なるとともに、前記現用励起光源の複数のレーザから出射される励起光の偏波と異なる偏波の複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザであって、複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定されている複数のレーザと、該レーザから出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器とを有することを要旨とする。

【0020】請求項6記載の本発明にあつては、現用励起光源と予備励起光源では複数のレーザで波長の異なる複数の励起光を出射するも、複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定される複数の励起光を出射し、この複数の励起光を合波して出射するとともに、励起光監視部で現用励起光源を監視して、その故障を検出した場合、現用励起光源を停止し、予備励起光源を駆動して現用から予備に切り替えるため、励起光源の現用から予備への切り替えを高速に行うことができ、従来のような手動切り替えによる長時間のシステム停止を回避することができる。

【0021】請求項7記載の本発明の励起光源は、各対では偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なる励起光を出射する複数対のレーザであって、該複数対のレーザのうち、2対ずつのレーザにおいては出射される励起光の波長が互いに近接して設定されている複数対のレーザと、各々が前記複数対のレーザの各対に対応して設けられる複数の偏波合波器であって、各偏波合波器は各対のレーザから出射される同一波長の励起光を合波する複数の偏波合波器と、該複数の偏波合波器から出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器と、前記複数対のレーザの各対において出射される同一波長の一对の励起光の互いに直交した偏波のうち、一方の偏波を有するレーザを現用のレーザとし、他方の偏波を有するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、該レーザの故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有することを要旨とする。

【0022】請求項7記載の本発明にあつては、複数対のレーザでは各対において偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では励起光の波長の異なり、複数対のレーザのうち、2対ずつのレーザにおいて励起光の波長が互いに近接している複数の励起光を出射するとともに、複数対のレーザの各対において互いに直交した偏波のうち、一方の偏波を有するレーザを現用のレーザとし、他方の偏波を有するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、その故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替えるため、励起光源の現用から予備への切り替えを高速に行うことができ、従来のような手動切り替えによる長時間のシステム停止を回避することができる。

【0023】また、請求項8記載の本発明の励起光源は、各対では偏波が互いに直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なる励起光を出射する複数対のレーザであって、該複数対のうち、2つずつの対のレーザから出射される励起光の波長が互いに近接して設定されている複数対のレーザと、各々が前記複数対のレーザの各対に対応して設けられる複数の偏波

合波器であって、各偏波合波器は各対のレーザから出射される同一波長の励起光を合波する複数の偏波合波器と、該複数の偏波合波器から出射される励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器と、前記波長が互いに近接して設定されている各 2 対のレーザにおいて第 1 の波長の第 1 の偏波の励起光を出射するレーザと第 2 の波長の前記第 1 の偏波に直交した第 2 の偏波の励起光を出射するレーザを現用のレーザとし、第 1 の波長の第 2 の偏波の励起光を出射するレーザと第 2 の波長の前記第 2 の偏波に直交した第 1 の偏波の励起光を出射するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、該レーザの故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部とを有することを要旨とする。

【0024】請求項 8 記載の本発明にあつては、複数対のレーザでは各対において偏波が互いに直交した同一波長の 1 対の励起光を出射し、複数の対間では励起光の波長の異なり、複数対のレーザのうち、2 対ずつのレーザにおいて励起光の波長が互いに近接している複数の励起光を出射するとともに、波長が互いに近接した各 2 対のレーザにおいて第 1 の波長の第 1 の偏波の励起光を出射するレーザと第 2 の波長の前記第 1 の偏波に直交した第 2 の偏波の励起光を出射するレーザを現用のレーザとし、第 1 の波長の第 2 の偏波の励起光を出射するレーザと第 2 の波長の前記第 2 の偏波に直交した第 1 の偏波の励起光を出射するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、その故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替えるため、励起光源の現用から予備への切り替えを高速に行うことができ、従来のような手動切り替えによる長時間のシステム停止を回避することができる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いて本発明の実施の形態を説明する。図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係るラマン増幅利用の光ファイバ通信システムに適用し得るラマン増幅器の構成を示す図である。同図に示した第 1 の実施形態のラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバ 1 と、該光ファイバ 1 を励起する励起光源 5 と、該励起光源 5 から出射した励起光と信号光とを合波する合波器 3 とを有する。

【0026】また、励起光源 5 は、各々が異なる波長 λ_{p1} 、 λ_{p1}^* 、 λ_{p2} 、 λ_{p2}^* を有する複数の励起光を出射する複数（本実施形態では 4 個）の単一偏波のレーザ 11s、12p、17s、18p であつて、複数の励起光のうち 2 つずつの励起光の波長 λ_{p1} と λ_{p1}^* および λ_{p2} と λ_{p2}^* が互いに隣接、すなわち近接して設定され、この波長が近接して設定された各 2 つの励起光の組のうち、少なくとも 1 組以上の組において波長が互いに近接した 2 つの励起光の偏波状態が偏波 s および偏波 p というように互いに直交している複数のレー

ザ 11s、12p、17s、18p と、該複数のレーザ 11s、12p、17s、18p からそれぞれ出射した複数の励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器 61 とから構成されている。

【0027】すなわち、複数のレーザ 11s、12p、17s、18p のうち、レーザ 11s は、波長 λ_{p1} で偏波 s の励起光を出射するレーザであり、レーザ 12p は、波長が λ_{p1} に近接している波長 λ_{p1}^* であり、偏波が偏波 s に直交している偏波 p の励起光を出射するレーザであり、レーザ 17s は、波長 λ_{p2} で偏波 s の励起光を出射するレーザであり、レーザ 18p は、波長が λ_{p2} に近接している波長 λ_{p2}^* であり、偏波 p の励起光を出射するレーザである。

【0028】波長 λ_{p1}^* および λ_{p2}^* は、それぞれ波長 λ_{p1} および λ_{p2} に近接している波長、すなわち近傍にある波長であるが、それらとは異なっている波長である。具体的には、波長 λ_{p1}^* と波長 λ_{p1} との差および波長 λ_{p2}^* と λ_{p2} との差は、波長 λ_{p1} と λ_{p2} との差の絶対値よりも小さいものである。従つて、波長選択型合波器 61 は、4 波長を合波するものである。

【0029】上述した第 1 の実施形態のラマン増幅器における励起光パワースペクトルを図 2 に示す。同図にも示すように、 λ_{p1} と λ_{p2} はそれぞれ 1500 nm および 1530 nm とし、それらの偏波状態は s 偏波としている。一方、 λ_{p1}^* と λ_{p2}^* は 1505 nm および 1535 nm とし、それらの偏波状態は p 偏波としている。4 つのレーザからの総合の励起光パワーは、従来技術と本構成でほぼ同じである。図 2 の励起光パワースペクトルに対応した利得スペクトルを図 3 に示す。s および p 偏波成分の励起光によるラマン利得の平均値およびそれらの和を示している。従来技術の図 11 のスペクトルとは 1600 nm および 1630 nm 近傍の波長で若干異なるが、総合利得に関して、1600 nm から 1630 nm の信号光波長域で図 11 とほぼ同様に平坦化された利得スペクトルが得られていることがわかる。ただし、利得スペクトル上の若干のリップルは簡単のため省略してある。

【0030】本実施形態の励起光源 5 を従来と比較すると、本実施形態では偏波合波器 31、33 を必要としないため、励起光に対するレーザから増幅用光ファイバまでの挿入損失を低減できる。また、構成部品点数が少なく、低価格化が可能である。ただし、波長選択型合波器 61 は、従来技術に比べ合波する励起光波長数が増加しても、価格等の顕著な劣化なく対応可能である。

【0031】本第 1 の実施形態のラマン増幅器では、更に詳しくは、励起光源 5 からの励起光は波長選択型合波器 61 で合波されて信号光と励起光の合波器 3 により光ファイバ 1 に導入される。励起光源 5 のレーザはファブリーペロー型の高出力半導体レーザであり、外付けのフ

13

アイバグレーティングを用いて発振波長の狭窄化等を行っている。波長選択型合波器61は、マッハツェンダー型の導波路型光回路(Planar Lightwave Circuit: PLC)であり、1500nmと1505nmおよび1530nmと1535nmの2波長を5nmのFSRで各々合波し、その後、それら2波長毎をやはり5nmのFSRで合波している。励起光パワーのスペクトルは図2に示す通りである。すなわち、1500nmと1505nmおよび1530nmと1535nmの励起光の偏波は、波長選択型合波器61の出力において互いに直交している。当然ながら、各レーザと波長選択型合波器までの光ファイバなどの光導波路は、各励起光の偏波状態を一定に保持する偏波保持型ファイバのような光導波路である。

【0032】利得媒質である光ファイバ1に入力する励起光パワーは、各レーザ当たり100mWであり、総合で400mWである。光ファイバ1は、80kmの分散シフト伝送ファイバまたは5kmのラマンファイバである。ラマン利得は、図3に示す形状であり、伝送ファイバを用いた場合、分布利得として、約20dB、ラマンファイバを用いた場合、集中利得として、約15dBである。

【0033】図9の従来技術で用いる偏波合波器31、33は、プリズム型のものであり、その典型的な挿入損失は約0.5dBないし1dBである。また、波長選択型合波器61は、PLCであり、そのFSRは30nmである。波長選択型合波器61の性能・価格等は、従来技術と本発明で顕著な違いはなく、従って本発明のラマン増幅器は偏波合波器31、33を有しない分だけ、価格が低い。また、偏波合波器31、33の挿入損失分だけ、励起光の挿入損失が低く、高い励起光パワーが得られたり、あるいは安価な励起レーザを採用できる。

【0034】図4は、本発明の第2の実施形態に係るラマン増幅器の構成を示す図である。同図に示すラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバ1と、該光ファイバ1を励起する励起光源51と、該励起光源51から出射される励起光と信号光とを合波する合波器3とから構成されている。

【0035】また、励起光源51は、現用励起光源5aと、予備励起光源5bと、該現用励起光源5aおよび予備励起光源5bから出射される励起光を合波する偏波合波器7と、現用励起光源5aを監視して、その故障を検出した場合、現用励起光源5aを停止し、予備励起光源5bを駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部9とから構成されている。

【0036】更に、現用励起光源5aは、各々が異なる波長 λ_{p1} 、 λ_{p1}^* 、 λ_{p2} 、 λ_{p2}^* を有し、偏波sの複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザ11s、12s、17s、18sであって、この複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長 λ_{p1} と λ_{p1}^* お

(8)

特開2001-230480

14

よび λ_{p2} と λ_{p2}^* が互いに隣接、すなわち近接して設定されている複数の単一偏波のレーザ11s、12s、17s、18sと、該複数のレーザ11s、12s、17s、18sから出射される複数の励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器62とから構成されている。

【0037】また、予備励起光源5bは、各々が現用励起光源5aと同様に異なる波長 λ_{p1} 、 λ_{p1}^* 、 λ_{p2} 、 λ_{p2}^* を有するとともに、現用励起光源5bの複数のレーザ11s、12s、17s、18sから出射される励起光の偏波sに直交する偏波pの複数の励起光を出射する複数の単一偏波のレーザ11p、12p、17p、18pであって、複数の励起光のうち2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定されている複数のレーザ11p、12p、17p、18pと、該複数のレーザ11p、12p、17p、18pから出射される複数の励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器63とから構成されている。

【0038】すなわち、複数のレーザ11s、12s、17s、18sおよび11p、12p、17p、18pのうち、レーザ11sは、波長 λ_{p1} で偏波sの励起光を出射するレーザであり、レーザ12sは、波長が λ_{p1} に近接している波長 λ_{p1}^* であり、偏波sの励起光を出射するレーザであり、レーザ17sは、波長 λ_{p2} で偏波sの励起光を出射するレーザであり、レーザ18sは、波長が λ_{p2} に近接している波長 λ_{p2}^* であり、偏波sの励起光を出射するレーザであり、レーザ11pは、波長 λ_{p1} で偏波pの励起光を出射するレーザであり、レーザ12pは、波長が λ_{p1} に近接している波長 λ_{p1}^* であり、偏波pの励起光を出射するレーザであり、レーザ17pは、波長 λ_{p2} で偏波pの励起光を出射するレーザであり、レーザ18pは、波長が λ_{p2} に近接している波長 λ_{p2}^* であり、偏波pの励起光を出射するレーザである。また、波長 λ_{p1}^* および λ_{p2}^* は、それぞれ波長 λ_{p1} および λ_{p2} に近接している波長、すなわち近傍にある波長であるが、それらとは異なっている波長であり、具体的には波長 λ_{p1}^* と波長 λ_{p1} との差および波長 λ_{p2}^* と λ_{p2} との差は、波長 λ_{p1} と λ_{p2} との差の絶対値よりも小さいものであることは第1の実施形態のラマン増幅器と同じである。

【0039】なお、図4に示した第2の実施形態のラマン増幅器においては、現用励起光源5aから出射される複数の励起光の偏波状態はsであり、予備励起光源5bから出射される複数の励起光の偏波状態はpであるが、逆に現用励起光源5aの偏波状態がpであり、予備励起光源5bの偏波状態がsであってもよいものである。

【0040】以上のように構成される第2の実施形態のラマン増幅器において、現用および予備の励起光源5a、5bを出射した励起光は、偏波合波器7で偏波領域

で合波される。励起光監視部9で現用励起光源5aの劣化を検出した場合に、現用励起光源5aの電氣的な駆動をやめ、予備励起光源5bの電流駆動を同時に開始して現用から予備への切り替えを行う。本構成は、利得媒質の光ファイバ1においてラマン利得が、単一偏波の励起光に対して、信号光偏波依存性を有しない場合に適用される。なぜならば、ラマン利得が単一偏波の励起光に対して信号光偏波依存性を有すると、一般に光ファイバ中を伝搬する信号光の偏波はランダムに変動するため、ラマン利得が変動するからである。励起光源の現用から予備への切り替えが電氣的に高速に行えるため、従来技術で問題であった手動切り替えによる長時間のシステム停止が回避できる。

【0041】また、第2の実施形態において、光ファイバ1は、第1の実施形態の光ファイバ1と類似しているが、ラマン利得が単一偏波の励起光に対して無偏波となるような光ファイバである(R. H. Stolen, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-15, pp. 1157-1160, 1979 参照)。例えば、光ファイバ1は、真円性の高い海底ケーブル中の伝送ファイバなどである。励起光源5a、5bからの励起光は偏波合波器7で合波されて信号光と励起光の合波器3により光ファイバ1に導入される。

【0042】現用と予備の切り替えのための励起光の監視は、励起光監視部9で行われるが、第1の監視方法としては、現用励起光源5aからの励起光パワーを偏波合波器7の後段でファイバ分岐器(簡単のため図では省略)により50対1の分岐比で分岐し、フォトダイオード受光器により受光する。受光した励起光パワーがある規定値以下になったときに現用励起光源5aが劣化したと判断して、予備励起光源5bに切り替える。その後同様に予備励起光源5bからの励起光パワーをモニタすることも可能である。

【0043】第2の監視方法としては、現用励起光源5aの各半導体レーザの後端面からのレーザ光をフォトダイオード受光器により受光してモニタし、そのモニタ値がある規定値以下になったときに現用励起光源5aが劣化したと判断して、予備励起光源5bに切り替える。その後、予備励起光源についても同様のモニタを行う。

【0044】現用励起光源5aから予備励起光源5bへの切り替えは電氣的に行い、十分高速に行える。その切り替え時間は、例えば10マイクロ秒である。一方、従来技術では、手動で切り替えるため、明らかに切り替え時間が長い。その切り替え時間は、例えば10分である。

【0045】励起光パワーのスペクトルは前記第1の実施形態と類似しており、図2において偏波状態を現用励起光源5aに対してすべてs偏波、また予備励起光源5bに対してすべてp偏波としたものである。ラマン利得は、図3に示すものと類似しており、利得成分を現用励起光源5aに対してすべてs偏波、また予備励起光源5

bに対してすべてp偏波としたものである。

【0046】図5は、本発明の第3の実施形態に係るラマン増幅器の構成を示す図である。同図に示す第3の実施形態のラマン増幅器は、ラマン増幅の利得媒質である光ファイバ1と、該光ファイバ1を励起する励起光源53と、該励起光源53から出射される励起光と信号光とを合波する合波器3とから構成されている。

【0047】励起光源53は、各々の対では互いに直交した偏波sとpである同一波長 λ_{p1} と λ_{p1} 、 λ_{p1} *と λ_{p1} *、 λ_{p2} と λ_{p2} 、 λ_{p2} *と λ_{p2} *の10 一対の励起光を出射し、複数の対間では異なる波長 λ_{p1} 、 λ_{p1} *、 λ_{p2} 、 λ_{p2} *の励起光を出射する複数対のレーザ11s、11p; 12s、12p; 17s、17p; 18s、18pであって、該複数対のレーザのうち、2対ずつのレーザにおいては出射される励起光の波長が互いに近接した波長 λ_{p1} と λ_{p1} *および λ_{p2} と λ_{p2} *に設定されている複数対のレーザ11s、11p; 12s、12p; 17s、17p; 18s、18pと、各々が複数対のレーザ11s、11p; 12s、12p; 17s、17p; 18s、18pの各対に対応して設けられる複数の偏波合波器31、32、33、34であって、各偏波合波器31、32、33、34は各対のレーザ11s、11p; 12s、12p; 17s、17p; 18s、18pから出射される同一波長の励起光を合波する複数の偏波合波器31、32、33、34と、該複数の偏波合波器31、32、33、34から出射される複数の励起光をその波長に応じて合波する波長選択型合波器64と、複数対のレーザ11s、11p; 12s、12p; 17s、17p; 18s、18pの各対において出射される同一波長の1 一対の励起光の互いに直交した偏波のうち、一方の偏波sを有するレーザ11s、12s、17s、18sを現用のレーザとし、他方の偏波pを有するレーザ11p、12p、17p、18pを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、該レーザの故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替える励起光監視部91とから構成されている。

【0048】すなわち、複数のレーザ11s、11p; 12s、12p; 17s、17p; 18s、18pのうち、レーザ11sは、波長 λ_{p1} で偏波sの励起光を出射するレーザであり、レーザ11pは、波長 λ_{p1} で偏波pの励起光を出射するレーザであり、レーザ12sは、波長が λ_{p1} に近接している波長 λ_{p1} *であり、偏波sの励起光を出射するレーザであり、レーザ12pは、波長が λ_{p1} に近接している波長 λ_{p1} *であり、偏波pの励起光を出射するレーザであり、レーザ17sは、波長 λ_{p2} で偏波sの励起光を出射するレーザであり、レーザ17pは、波長 λ_{p2} で偏波pの励起光を出射するレーザであり、レーザ18sは、波長が λ_{p2} に近接している波長 λ_{p2} *であり、偏波sの励起光を出

射するレーザであり、レーザ 18p は、波長が λ_{p2} に近接している波長 λ_{p2}^* であり、偏波 p の励起光を出射するレーザである。また、波長 λ_{p1}^* および λ_{p2}^* は、それぞれ波長 λ_{p1} および λ_{p2} に近接している波長、すなわち近傍にある波長であるが、それらとは異なっている波長であり、具体的には波長 λ_{p1}^* と波長 λ_{p1} との差および波長 λ_{p2}^* と λ_{p2} との差は、波長 λ_{p1} と λ_{p2} との差の絶対値よりも小さいものであることは第 1 の実施形態のラマン増幅器と同じである。

【0049】すなわち、現用のレーザ 11s, 12s, 17s, 18s は、それぞれ異なる波長 λ_{p1} , λ_{p1}^* , λ_{p2} , λ_{p2}^* の励起光を出射するが、その偏波はすべて同じ偏波 s である。また、予備のレーザ 11p, 12p, 17p, 18p は、それぞれ異なる λ_{p1} , λ_{p1}^* , λ_{p2} , λ_{p2}^* の励起光を出射するが、その偏波は現用のレーザの偏波に直交するすべて同じ偏波 p である。

【0050】そして、レーザ 11s, 11p から出射される波長が同一の λ_{p1} であり、s 偏波と p 偏波の励起光が偏波合波器 31 で合波され、レーザ 12s, 12p から出射される波長が同一の λ_{p1}^* であり、s 偏波と p 偏波の励起光が偏波合波器 32 で合波され、またレーザ 17s, 17p から出射される波長が同一の λ_{p2} であり、s 偏波と p 偏波の励起光が偏波合波器 33 で合波され、レーザ 18s, 18p から出射される波長が同一の λ_{p2}^* であり、s 偏波と p 偏波の励起光が偏波合波器 34 で合波され、それから更に波長選択型合波器 64 で合波され、合波器 3 に出射される。

【0051】なお、図 5 に示す第 3 の実施形態のラマン増幅器における光ファイバ 1 は、第 2 の実施形態と同様にラマン利得が単一偏波の励起光に対して無偏波となるような光ファイバである。また、現用と予備の切り替えのための励起光の監視も上述した第 2 の実施形態と同様に行われる。更に、励起光パワーのスペクトルも第 2 の実施形態と同様である。

【0052】図 6 は、本発明の第 4 の実施形態に係るラマン増幅器の構成を示す図である。同図に示す第 4 の実施形態のラマン増幅器は、現用および予備のレーザとして使用するレーザが異なるのみであり、その構成は図 5 に示した第 3 の実施形態に使用されている励起光管理部 91 の代わりに励起光監視部 92 が使用されていることを除いて、図 5 の第 3 の実施形態と同じである。

【0053】すなわち、図 6 に示す第 4 の実施形態のラマン増幅器では、互いに近接した波長 λ_{p1} と λ_{p1}^* および λ_{p2} と λ_{p2}^* に設定されている各 2 対のレーザ 11s, 11p; 12s, 12p; 17s, 17p; 18s, 18p において第 1 の波長 λ_{p1} , λ_{p2} の第 1 の偏波 s の励起光を出射するレーザ 11s, 17s と第 2 の波長 λ_{p1}^* , λ_{p2}^* の前記第 1 の偏波 s に直交した第 2 の偏波 p の励起光を出射するレーザ 12p,

18p を現用のレーザとし、第 1 の波長 λ_{p1} , λ_{p2} の第 2 の偏波 p の励起光を出射するレーザ 11p, 17p と第 2 の波長 λ_{p1}^* , λ_{p2}^* の前記第 2 の偏波 p に直交した第 1 の偏波 s の励起光を出射するレーザ 12s, 18s を予備のレーザとしている。

【0054】すなわち、現用のレーザ 11s, 12p, 17s, 18p は、それぞれ波長 λ_{p1} で偏波 s の励起光、波長 λ_{p1}^* で偏波 p の励起光、波長 λ_{p2} で偏波 s の励起光、および波長 λ_{p2}^* で偏波 p の励起光を出射し、また予備のレーザ 11p, 12s, 17p, 18s は、それぞれ波長 λ_{p1} で偏波 p の励起光、波長 λ_{p1}^* で偏波 s の励起光、波長 λ_{p2} で偏波 p の励起光、および波長 λ_{p2}^* で偏波 s の励起光を出射する。そして、励起光管理部 92 は、現用のレーザ 11s, 17s, 12p, 18p を監視して、該現用のレーザ 11s, 17s, 12p, 18p の故障を検出した場合、現用のレーザ 11s, 17s, 12p, 18p を停止し、予備のレーザ 11p, 17p, 12s, 18s を駆動して現用から予備に切り替えている。なお、現用と予備の励起光源の偏波状態は上記と逆でもよい。本実施形態では、利得媒質の光ファイバ 1 においてラマン利得が単一偏波の励起光に対して信号光偏波依存性を有しない場合のみならず、偏波依存性を有する場合にも適用することができる。

【0055】また、図 6 に示す第 4 の実施形態のラマン増幅器においては、光ファイバ 1 は、第 2 および第 3 の実施形態と異なり、ラマン利得が単一偏波の励起光に対して偏波依存性を有していてもよい。その光ファイバの例としては、ボビン等に収容したラマンファイバや、真円性の低い陸上システム適用の伝送ファイバなどがある。また、励起光源 53 の構成は第 3 の実施形態と類似している。そして、上述したように、現用の励起光を近接波長 (λ_{p1} と λ_{p1}^* 、および λ_{p2} と λ_{p2}^*) で偏波が直交するように設定している。また、予備の励起光は、現用の励起光と異なる偏波としている。すなわち、現用の励起光の偏波の波長配置は、第 1 の実施形態と同様である。従って、ラマン利得が励起光の偏波に依存する光ファイバ 1 に対しても、信号光偏波に無依存なラマン利得を得ることができる。ちなみに、励起光の偏波状態を第 2 および第 3 の実施形態のごとく、現用と予備でそれぞれ単一偏波としたとき、光ファイバ 1 におけるラマン利得の信号光偏波依存性の例は、ランダムな任意偏波に対し、ラマン利得 20 dB に対する変動利得として 20 dB 程度である。なお、現用と予備の切り替えのための励起光の監視は、第 2 の実施形態と同様であり、また励起光パワーのスペクトルは第 1 の実施形態と同様である。

【0056】図 7 は、本発明の第 5 の実施形態に係るラマン増幅器の構成を示す図である。同図に示す第 5 の実施形態のラマン増幅器は、図 1 に示した第 1 の実施形態

において励起光源におけるレーザの数を増やした点が異なるのみであり、その基本的構成および作用は図1の第1の実施形態と同じである。

【0057】すなわち、図7に示すラマン増幅器の励起光源55は、図1のラマン増幅器の4個のレーザ11s, 12p, 17s, 18pに加えて、更に4個のレーザ21s, 22p, 27s, 28pを有し、レーザ21sは波長で λ_{p3} で偏波sの励起光を出射し、レーザ22pは波長が λ_{p3} に近接した λ_{p3}^* で偏波pの励起光を出射し、レーザ27sは波長が λ_{p4} で偏波sの励起光を出射し、レーザ28pは波長が λ_{p4} に近接した λ_{p4}^* で偏波pの励起光を出射するようになっている。そして、この8個のレーザ11s, 12p, 17s, 18p, 21s, 22p, 27s, 28pからそれぞれ出射される複数の励起光が波長選択型合波器65で合波される。

【0058】本第5の実施形態における励起光パワーのスペクトルを図8に示す。励起光波長は、同図に示すように、1500nmから1535nmの波長域に5nm間隔で配置されている。ラマン利得のスペクトルは図1に示した第1の実施形態の場合の図3に示すスペクトルに類似しているものである。ただし、本第5の実施形態では、励起光波長が第1の実施形態に比較して、密に配置されているので、利得スペクトル上でのリップルが第1の実施形態に比較して小さくなっている。なお、リップルは簡単化のため図3では省略されている。

【0059】各波長のレーザからの励起光パワーは、第1の実施形態では約100mWであったが、本第5の実施形態では、第1の実施形態と同じ利得を得るための励起光パワーは、約50mWである。これは、本実施形態の励起光波長数が第1の実施形態の2倍の8波長であるためである。約50mWより高い励起光パワーであれば、明らかにより高い利得が得られる。つまり、本実施形態を第1の実施形態と比較した場合、励起レーザの個数は増えるが、リップルが少なく、より平坦な利得スペクトルが得られる。また、レーザ当たりの所用励起光パワーが少なくすむなどの利点がある。

【0060】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、波長の異なる複数の励起光のうちの2つずつの励起光の波長が互いに近接して設定され、この波長が近接した各2つの励起光の組のうち、少なくとも1組以上の組において波長が近接した2つの励起光の偏波状態が互いに直交しているように設定される複数の励起光を出射し、この複数の励起光を合波しているのので、従来のように偏波合波器を必要とせず、励起光に対するレーザから増幅用光ファイバまでの挿入損失を低減することができるとともに、部品点数が少なく、経済化を図ることができる。

【0061】また、本発明によれば、現用励起光源と予備励起光源では波長の異なる複数の励起光のうち2つず

つの励起光の波長が互いに近接して設定される複数の励起光を出射し、この複数の励起光を合波して出射するとともに、現用励起光源を監視して、その故障を検出した場合、現用励起光源を停止し、予備励起光源を駆動して現用から予備に切り替えるので、励起光源の現用から予備への切り替えを高速に行うことができ、従来のような手動切り替えによる長時間のシステム停止を回避することができる。

【0062】更に、本発明によれば、各対のレーザで偏波が直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なり、2対ずつのレーザにおいて励起光の波長が互いに近接している複数の励起光を出射するとともに、各対において互いに直交した偏波のうち、一方の偏波を有するレーザを現用のレーザとし、他方の偏波を有するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、その故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替えるので、励起光源の現用から予備への切り替えを高速に行うことができ、従来のような手動切り替えによる長時間のシステム停止を回避することができる。

【0063】本発明によれば、各対のレーザで偏波が直交した同一波長の一对の励起光を出射し、複数の対間では波長の異なり、2対ずつのレーザにおいて励起光の波長が互いに近接している複数の励起光を出射するとともに、波長が近接した各2対のレーザにおいて第1の波長の第1の偏波の励起光を出射するレーザと第2の波長の第2の偏波の励起光を出射するレーザを現用のレーザとし、第1の波長の第2の偏波の励起光を出射するレーザと第2の波長の第1の偏波の励起光を出射するレーザを予備のレーザとし、現用のレーザを監視して、その故障を検出した場合、現用のレーザを停止し、予備のレーザを駆動して現用から予備に切り替えるので、励起光源の現用から予備への切り替えを高速に行うことができ、従来のような手動切り替えによる長時間のシステム停止を回避することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るラマン増幅利用の光ファイバ通信システムに適用し得るラマン増幅器の構成を示す図である。

【図2】図1に示した第1の実施形態のラマン増幅器の励起光パワースペクトルを示すグラフである。

【図3】図1に示した第1の実施形態のラマン増幅器の利得スペクトルを示すグラフである。

【図4】本発明の第2の実施形態に係るラマン増幅利用の光ファイバ通信システムに適用し得るラマン増幅器の構成を示す図である。

【図5】本発明の第3の実施形態に係るラマン増幅利用の光ファイバ通信システムに適用し得るラマン増幅器の構成を示す図である。

【図6】本発明の第4の実施形態に係るラマン増幅利用

の光ファイバ通信システムに適用し得るラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 7】 本発明の第 5 の実施形態に係るラマン増幅利用の光ファイバ通信システムに適用し得るラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 8】 図 7 に示した第 5 の実施形態のラマン増幅器の励起光パワースペクトルを示すグラフである。

【図 9】 従来のラマン増幅器の構成を示す図である。

【図 10】 図 9 に示した従来のラマン増幅器の励起光パワースペクトルを示すグラフである。

【図 11】 図 9 に示した従来のラマン増幅器の利得スペ

クトルを示すグラフである。

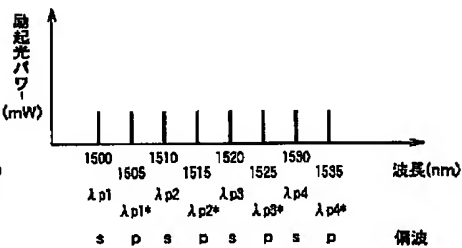
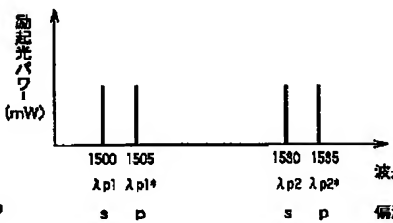
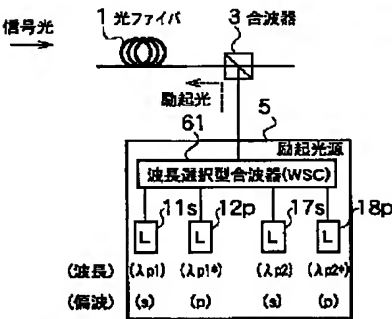
【符号の説明】

- 1 光ファイバ
- 3 合波器
- 5, 51, 53, 54, 55 励起光源
- 5a 現用励起光源
- 5b 予備励起光源
- 7 偏波合波器
- 11s, 11p, 12s, 12p, 17s, 17p, 18s, 18p レーザ
- 61, 62, 63, 64, 65 波長選択型合波器

【図 1】

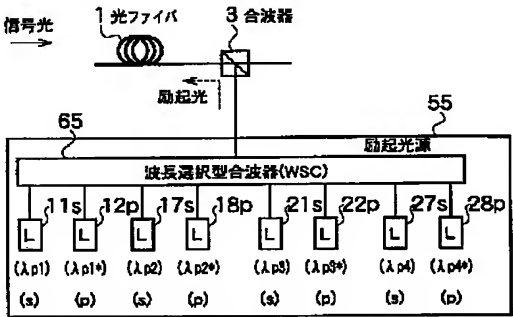
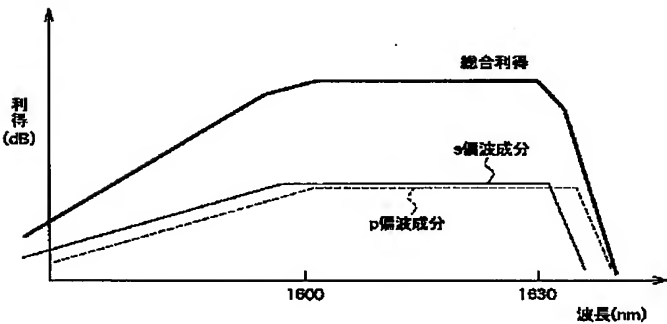
【図 2】

【図 8】



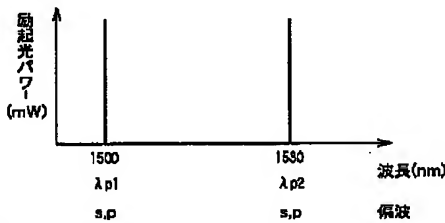
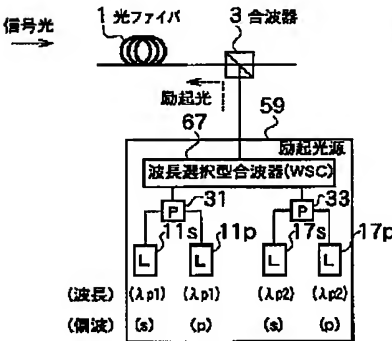
【図 7】

【図 3】

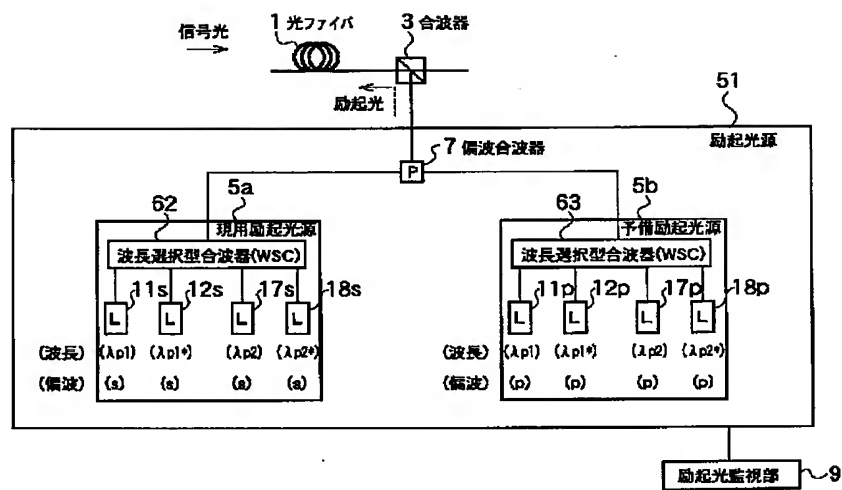


【図 9】

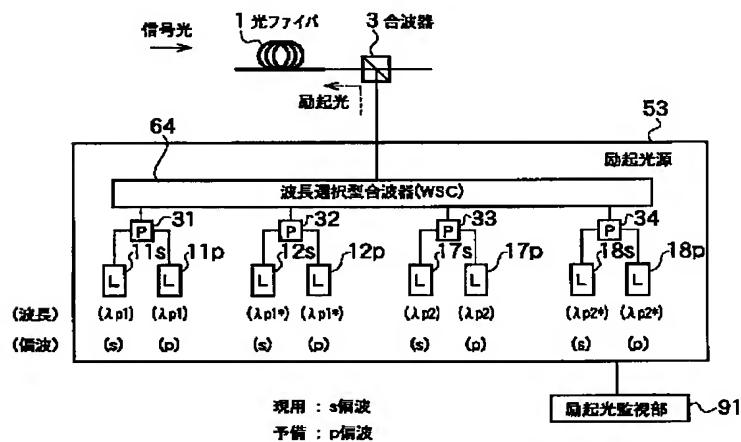
【図 10】



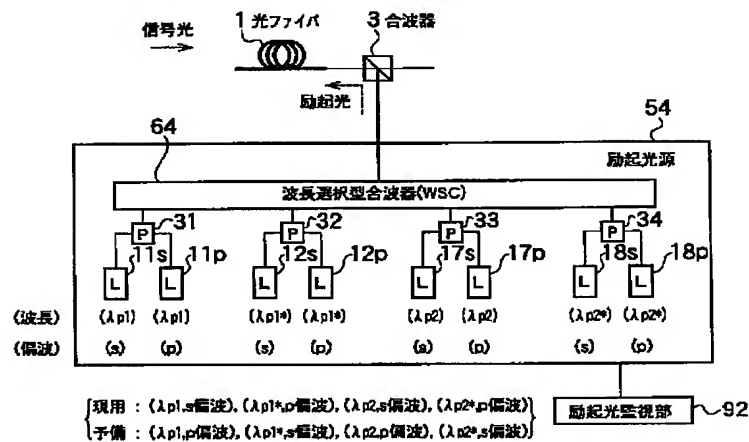
【図 4】



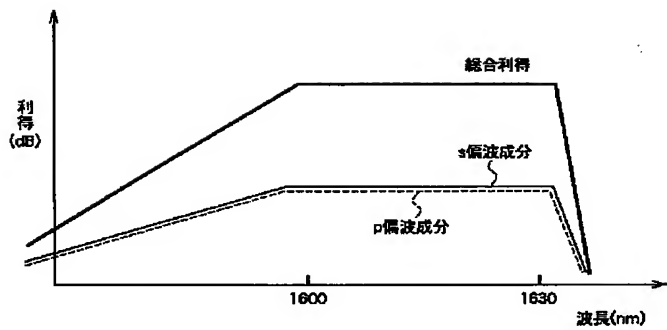
【図 5】



【図 6】



【図 1 1】



フロントページの続き

F ターム (参考) 2K002 AA02 AB12 AB30 BA01 CA15
DA10 HA24
5F072 AB07 AK06 KK30 PP07 QQ07
YY17